



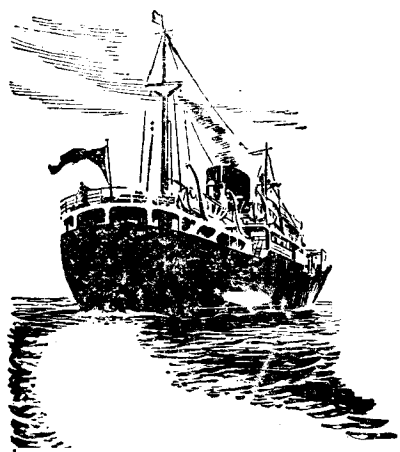
航海天文学

金吉倫 編著
陆紹鑫

人民交通出版社

航海天文学

金陆 吉紹 倫鑫 編 著



人民交通出版社

本書是由大連海運學院副教授金吉倫與航海天文學愛好者陸紹鑫合作編寫的。書中除概括了近代航海天文學的一般理論與實用方法外，還詳細論述了航海天文學中的主要問題即天文位置綫問題，指出了它的一般的和特殊的性質。對於天文位置綫在漸長圖上的曲率問題，太陽最大高度與中天高度問題，近子午高度求位置綫問題等，都作了詳盡的論述；並介紹了求天文位置綫的幾個新方法。書中所設計的近子午表，也是已往世界各國的航海表中所未有的。本書可供船舶駕駛員及高等航海學校的師生參考與研究之用。

統一書號：15044·5111-京

航海天文學

金吉倫 陸紹鑫編著

★

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

新華書店發行

公私合營慈成印刷工廠印刷

1957年8月北京第一版 1957年8月北京第一次印刷

開本：850×1168毫米 印張：15張

全書：417,000字 印數：1—1000冊

定價(10)：2.60元

序 言

航海天文学是航海科学的一个分科，是專門研究大洋航海上应用天文知識和一些必要的仪器来测算船位的一种科学。过去，我国并无此种專門書籍，所以海員們对这种中文書籍的需要显得异常迫切。为此，我們搜集了中外書籍中的航海天文部分，再參以自己多年来的研究成果和意見，編写了这本书。

本書在1953年初即开始編写，經過長時間和多次的修改和重寫，最近又根据我国新刊行的天文航海曆作了必要的修訂。

首先應該說明的是：我們在編写过程中，对中外航海書籍中存在的一些立論和算法，在我們看来認為是錯誤的，予以批判，并提出了自己的意見。自然，这些批判和意見可能也有值得商榷的地方；所以希望航海界的同志提出批評，互相討論，以謀共同进步。

其次我們也應該說明的是：在本書中，我們提出并解决了若干新的問題；其中包括近子午表(Ex-meridian Tables)的新設計，近子午和近卯酉圈高度求位置綫的新办法以及其它等等。我們新設計成的近子午表，同时列入近子午高度矯正量和方位角，其精确度能保証应用到时角一小时方位达 $30\sim 35^\circ$ 左右。而且又可应用于近卯酉圈高度求位置綫及矯正任意位置綫太長时所产生的錯誤等。所以，本表的应用范围非常广泛，而且將在近子午位置綫的算法上彻底清除点航法的殘余影响，使近子午高度的算法能簡單地、合理地依照位置綫的基本原理来解决。我們也詳細地研究了天体最大高度与中天高度之間的关系，提出了最大高度求緯度法的实际应用，我們所制的最大高度間隙表要比应氏(Inman's)表和諾氏(Nories)表精确得多，可以用以正确計算最大高度与中天高度之間的时间間隙和高度間隔(矯正量)；所以，如果用于近午

等高度法求經度時，也能保證所得經度具有合理的精確度。同時，我們也深入考察了最大高度與近午等高度法中的位置綫問題，指明了這兩種位置綫的特殊性質。在天文位置綫章中，關於各種簡捷算法的應用範圍，都作了新的研究，並將結果列成表格，以便於讀者參考。最後，我們還詳細敘述了位置綫與位置的錯誤問題，說明了連續觀測的理論根據，也特別指出了夾正午而行的觀測在船位測算中的重要地位。本書中還詳細介紹了金吉倫所著的緯度表，該表第一部分（表Ⅰ）實與 Aquino 氏最新海空航用表類同；但第二部分（表Ⅱ）卻是一種新的創作；它使緯度法及卯酉圈經度法的計算無須應用對數表便可得到解決。這一問題在歐美各種航海表中是從未解決過的。由於位置綫的求法中增加了新的內容，而這些內容也必然反映到怎樣靈活應用位置綫去測定船位方面去；因此在本書第六章我們所設計的算例中，也就包括了若干決定船位的新辦法。我們認為航海天文學是一門理論與實踐高度結合着的有系統的學問，它將從實踐中不斷克服錯誤與缺點而得到發展。我們反對經驗主義，但是也反對脫離實際的空談理論。所以，書中這些問題，不管是過去有人提出過而我們加以發展了的，或者是我們第一次提出來的，都將接受實踐的考驗。我們極誠懇地要求航海界的同志們能本着“百家爭鳴”的精神來對待這些問題，提出寶貴的意見。

本書所用天文學上的名詞，基本上以前中央人民政府政務院文化教育委員會學術名詞統一工作委員會公布的“天文學名詞”為準，但尚有部分航海上習慣應用的，仍從習慣。

本書雖經多次修訂，但錯誤與缺點仍所難免，尚希廣大海員同志們批評和指教。

最後，向從各方面幫助和鼓勵我們的同志們敬致謝忱。並向給我們幫助的交通部和大連海運學院致以衷心的謝意。

編著者

1956年9月

目 錄

序 言

第一章 天文常識

第一節 定义总注釋	1
1. 天球	1
2. 星体的天球坐标	8
3. 天球平面图	9
第二節 天体运动淺說	11
1. 宇宙	11
2. 太阳系	12
3. 太阳的視运动	14
4. 行星的相对运动	17
5. 月亮	21
6. 恒星	24
7. 岁差与章动	26
第三節 星空概述	28
1. 恒星的星等	28
2. 星座的辨認	30
3. 个别恒星的辨認	37
4. 如何辨認行星	40

第二章 時間与天文航海曆

第一節 時間	42
1. 時間的涵义	42
2. 太阳時間	42
3. 时差	44
4. 恒星時間	48

5. 平时与恒星时的关系	48
6. 太阳时间	50
7. 时间与經度	50
8. 区时与标准时	59
9. 天文鐘与世界时	62
习题一	
第二節 天文航海曆	68
1. 概述	68
2. 时角与平时的关系	69
3. 天体时角的变化率	71
4. 天体时角及赤緯算法(以1956年天文航海曆为例)	73
习题二	
第三節 天体的中天問題	77
1. 概述	77
2. 太阳中天時間算法	77
3. 行星中天時間算法	80
4. 月亮中天時間算法	81
5. 恒星中天時間算法	83
6. 任意兩時刻間經過中天的恒星	87
7. 中天高度求緯度法	90
习题三	

第三章 天体的高度

第一節 六分仪	94
1. 六分仪的構造	94
2. 六分仪構成的原理	96
3. 游尺的原理及讀数法	98
4. 六分仪的差誤	100
5. 六分仪的保管	103
第二節 天体高度的改正	104
1. 折光差	104
2. 伏角差	110

3. 視差.....	118
4. 半徑差.....	120
5. 实用高度改正法.....	130
6. 水銀盤測高度的改正法.....	139

习题四

第三節 天体高度的观测法.....	141
1. 海上观测.....	141
2. 观测时的注意点.....	143
3. 陆上观测.....	147

第四章 天文定位三角形

1. 球面三角公式摘要.....	148
2. 定位三角形的一般解法.....	149
3. 特別定位三角形的解法.....	158
4. 斜球面三角形分割成直角球面三角形的解法.....	162
5. 定位三角形的微分式.....	153

习题五

第五章 天文位置綫

第一節 天文位置綫的概念.....	156
1. 天体的地理位置.....	166
2. 位置圈.....	167
3. 漸長图上的位置圈.....	168
4. 大高度特殊場合的位置圈.....	169
5. 漸長图上位置圈的曲率半徑.....	173
6. 位置綫.....	175
第二節 位置綫的一般算法.....	178
1. 位置綫簡史.....	178
2. 沈納算法.....	180
3. 截距法.....	188
4. 假定位置与位置綫.....	193

习题六

5. 航用天文表.....	196
6. 位置綫的矯正法.....	206
第三節 位置綫的簡捷算法.....	208
1. 中天高度求位置綫法.....	208
2. 近子午綫高度求位置綫法.....	211
习题七	
3. 天体高度的变化率.....	233
4. 最大高度求緯度法.....	242
习题八	
5. 极星高度求緯度法.....	252
习题九	
6. 近午等高度求經度法.....	259
习题十	
7. 卯酉圈高度求經度法.....	273
8. 近卯酉圈高度求位置綫法.....	278
习题十一	

第六章 天測位置的決定

1. 估計位置的推算法.....	282
2. 單一位置綫的应用.....	287
3. 天測位置的決定.....	289
习题十二	

第七章 天文位置綫与位置的錯誤問題

第一節 位置綫的錯誤問題.....	321
1. 截距上的錯誤.....	321
2. 方位上的錯誤.....	324
3. 由于位置圈曲率所生的錯誤.....	325
4. 由于使用于漸長图上所生的錯誤.....	325
5. 位置綫在轉位中所生的錯誤.....	327
第二節 天測位置的錯誤問題.....	330
1. 由于实测高度錯誤所生的位置錯誤.....	330

2. 示誤三角形問題.....	334
3. 位置由于轉位綫錯誤所生的錯誤.....	338
第三節 連續觀測与夾正午而行的觀測.....	340
1. 連續觀測的理論根据.....	340
2. 連測高度的矯正值.....	342
3. 連續觀測的好处.....	344
4. 夾正午而行的觀測.....	345

习题十三

第八章 天体的出沒和晨昏朦影

1. 天体的出沒.....	350
2. 視日出沒时.....	352
3. 月出沒时.....	355
4. 晨昏朦影.....	357

习题十四

第九章 幾种航用仪器差的天文測定法

第一節 羅經差的天文測定法.....	361
1. 出沒方位法.....	361
2. 高度等于赤緯时的方位法.....	367
3. 极星方位法.....	374
4. 時間方位法.....	374
5. 高度方位法.....	376
6. 方位角的錯誤問題.....	378

习题十五

第二節 天文鐘差的天文測定法.....	381
1. 單高度法.....	382
2. 單高度觀測中所含的錯誤.....	385
3. 高度、緯度及赤緯錯誤对于天文鐘差的影响.....	386
4. 等高度法.....	386
5. 等高度觀測中所含的錯誤.....	390
6. 进行天文鐘差觀測时应注意的几点.....	391

第三節 六分儀差的天文測定法	392
1. 用南北兩天体的中天高度求六分儀差法	393
2. 測恒星距求六分儀差法	394
3. 透視綫差的單獨處理法	397
習題十七	
附表:	
1. 近子午表	401
I. 經差化橫距 (Dep) 之表	
II. 近子午高度矯正量與方位表	
III. 近午高度二次矯正表	
IV. 近子午表數字所能及的最大時角	
2. 最大高度間隙表	452
I. 太陽最大高度間隙表	
II. 經差矯正表	
3. 緯度表	463
I. 高度方位表	
II. 卯酉圈經度表	
常用符號及略字簡表	481
索引	483
本書參考文獻	488

第一章 天文常識

第一节 定义总註釋

1. 天球 (Celestial sphere)

人們在晴朗的夜里仰觀天空，必見到宇宙間的天體似乎都位於一個巨大空心球的內側表面上，它們只有大小明暗的不同，卻沒有遠近的區別。這個主觀的以觀測者眼睛為中心的大空心球夾在是沒有的。但在實用天文上，天體在宇宙間的實在位置以及它們與地球的距離常可置而不顧，因此我們假定有一個以地心為中心的，以無窮大為半徑的天球，以便將所有遠近的天體以及地球表面的東西投影到一個球面上，這樣就可應用球面三角學來解決天文上的實用問題。天球就是如此假設而成的。由於地球半徑比之於地球與恆星間的距離是微得微不足道的，所以對恆星來說，地面上的測者也可視為在天球的中心。

在航海天文學上，天體的位置並不指它在宇宙間的實在位置，而是它在天球上的投影。為了研究天體與觀測者在天球上的位置關係，我們在天球上也虛構許多大圈與小圈。茲將其名稱及涵義逐一註釋于下。

1. 天軸、天極和天赤道 (Celestial axis, celestial Poles and celestial equator) 以地球自轉之軸向兩端無限延長達于天球，這樣構成的一條直線稱為天軸。天軸與天球相交的兩點稱為天極；其中在北端的稱北極，在南端的稱南極。

以地球赤道面向外無限擴大達于天球，其與天球相交所成的一個大圈稱為天赤道，天赤道常與天軸成直交。如圖 1-1 中， o 為地心， pop' 為地軸， qq' 為地球赤道，而 PoP' 即為天軸， P

和 P' 为天极, P 为北极, P' 为南极, QQ' 即为天赤道。

2. 天球子午圈和平赤緯圈 凡通过天极的大圈, 統称为天球子午圈。(Celestial meridian)。显然, 天球子午圈也就是地球子午圈在天球上的投影。如图 1-1 中, pgp' 为地球子午圈之一, 而 PGP' 即为天球子午圈之一。

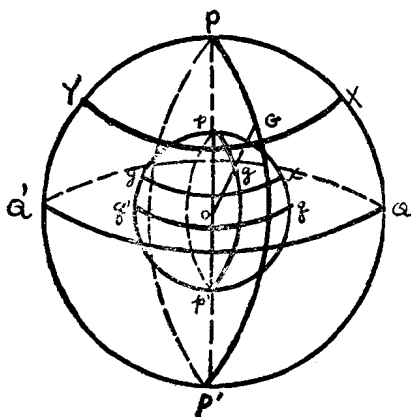


图 1-1

凡通过天体位置的天球子午圈統称为天体的天球子午圈(Celestial meridian of the heavenly body)。天体的天球子午圈又名赤緯圈(Circle of declination)或时圈(Hour circle)。如图1-1中, 設 G 为某天体在天球上的位置, 則 PGP' 即为天体 G 的天球子午圈。

在天球上, 凡与天赤道平行的小圈, 統称为平赤緯圈(Parallel of declination), 亦即相当于地球上的平緯圈(Parallel of Latitude)。如图 1-1 中, xy 为平緯圈, XY 即为平赤緯圈。

3. 黄道 地球在自轉的同时, 又以一年为周期繞太阳公轉, 地球公轉的軌道是一个以太阳为焦点的橢圓。設想这个橢圓形的軌道面向外无限扩大而达于天球, 它必与天球截成一个大圈。这个大圈便是黄道(Ecliptic)。如图 1-2 中, 地球在它的軌道上作由西向东的公轉运动, 如果地球的公轉以太阳在天球上的視运动来理会, 那么当地球在 A 点的时候, 太阳在天球上的位置是 γ , 地球抵达 B, C 及 D 点的时候, 則太阳必相应地由 γ 移至 L, Ω 及 L' 。太阳的周年視运动就是这样形成的。

黄道与天赤道的交角称为軌道交角(Inclination of orbit), 約为 $23^{\circ}27'$ 。

黄道与天赤道相交的两点在天文上称为二分点(Equinoxes); 其中太阳开始由北向南行经的一点, 称秋分点; 太阳开始由南向北行经的一点, 则称为春分点。如图 1-2 中的 r 即为春分点, Ω 即为秋分点,

黄道与天赤道相距最远的两点在天文上称为二至点; (Solstices); 其中北侧的一点称夏至点, 南侧的一点则称为冬至点。如图 1-2 中 L 为夏至点, L' 为冬至点。

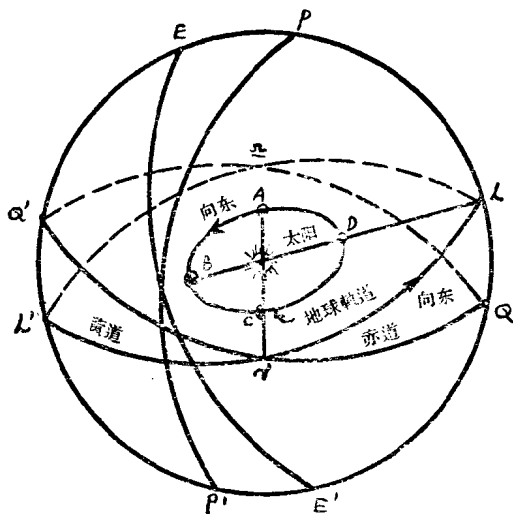


图 1-2

每年约当 3 月 21 日, 6 月 22 日, 9 月 23 日和 12 月 22 日, 当太阳经过春分点、夏至点、秋分点及冬至点的时候, 分别称为春分、夏至、秋分及冬至。

天体在其轨道上最近及最远于太阳的点分别称为近日点及远日点。地球的近日点约在冬至后 10 日的地方, 即每年 1 月 1 日的时候; 远日点约在夏至后 10 日的地方, 即每年 7 月 2 日的时候。

4. 天体的赤纬与赤经 天体与天赤道在天体赤纬圈(即天球子午圈)上的弧距, 称为天体的赤纬 (Declination); 亦即相当

于地球上某一定地的緯度。赤緯有南北之分。凡天体在天赤道北側的，其赤緯为北（符号 N ）；反之，則赤緯为南（符号 S ）。赤緯常从天赤道 0° 算起至南北各 90° 为止。

天体跟测者緯度同名的天极之間，在天体赤緯圈上的弧距，称为天体的极距(Polar distance)。故当天体赤緯与测者緯度同名之时、天体的极距等于 90° 减去赤緯；而当赤緯与緯度异名之时則极距等于 90° 加上赤緯。如图 1-3 中，設 P 为跟测者緯度（北）同名的天极，則天体 X 的赤緯为 XR （北），天体 X' 的赤緯为 $X'R$ （南），天体 X 的极距为 $PX(=90^\circ - RX)$ ，天体 X' 的极距为 $PX'(=90^\circ + RX')$ 。

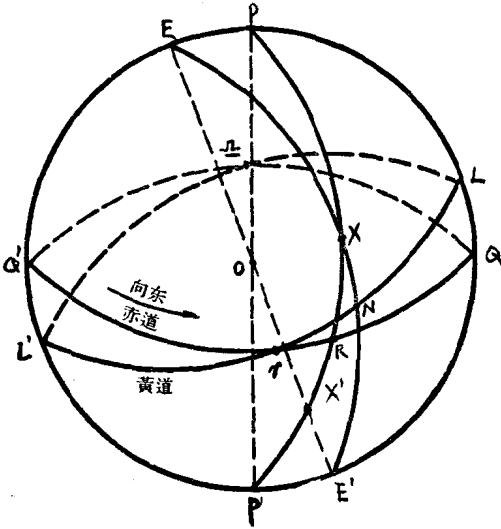


图 1-3

天体的天球子午圈与春分点在天赤道上的弧距，称为天体的赤經(Right ascension)或赤經共軛量(Sidereal Hour Angle)。赤經常从春分点向东計算至 24 时或 360° 为止；而赤經共軛量則常从春分点向西計算至 24 时或 360° 为止。故同一天体的赤經与赤經共軛量之和常为 360° 如图 1-3 中的 γR 即为天体 X 或 X' 的

赤經。

5. 天体的黃經與黃緯， 凡通過黃道兩極的大圈，亦即與黃道直交的大圈統稱為黃緯圈。天體與黃道在黃緯圈上的弧距，稱為天體的黃緯 (Ecliptic longitude)。凡天體在黃道北側的，其黃緯為北，符號(+); 反之，則其黃緯為南，符號(-)。黃緯常從黃道 0° 算起至南北各 90° 為止。如圖1-3中， EXE' 為通過天體 X 的黃緯圈， NX 即為天體 X 的黃緯(北)。

天體的黃緯圈與春分點在黃道上的弧距，稱為天體的黃經 (Ecliptic latitude)。黃經常從春分點向東算起至 360° 為止。如圖1-3中， γN 即為天體 X 的黃經。

6. 觀測者在天球上的位置 通過地面上的測者，向地面作垂綫，再將該綫向兩端延長達于天球；這樣形成的兩點稱為測者的天頂 (Zenith) 和天底 (Nadir)。天頂在測者正上方，而天底則在正下方。測者的天頂也就是測者在天球上的位置。如圖1-4中， o 為觀測者在地球上的位置， Z 、 Z' 即為天頂和天底。通過測者天頂和天底的天球子午圈稱為觀測者的天球子午圈。据此，通過英國格林尼治地方的天球子午圈就稱為格林尼治天球子午圈。

天球子午圈常以兩極為界，劃成二部分，各長 180° ；其中含有測者天頂的一半稱為極上子午綫 (Upper meridian)，含有天底的一半則稱為極下子午綫 (Lower meridian)。但一般所說的子午綫均指極上子午綫而言。

測者天頂的赤緯稱為測者的天文緯度。航海上用天文方法求得的緯度就是這種緯度。天文緯度在理論上與我們海圖上應用的地理緯度

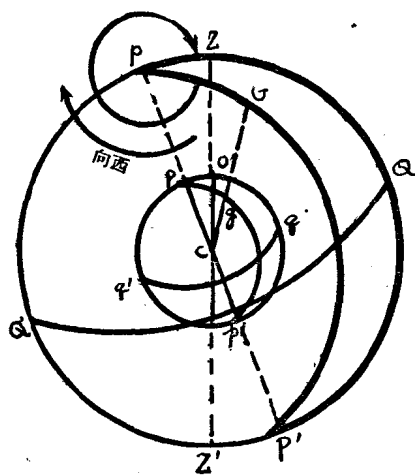


圖 1-4

尚有一定差别；但以所差之值甚小，航海者常可不予計及。

測者的天球子午綫与格林尼治天球子午綫在天极处的交角或在赤道上的弧距称为天頂的格林尼治时角 (Greenwich Hour Angle) (以下簡称格林时角)。由于格林时角常从格林尼治天球子午綫向西算起至 24 时或 360° 为止；所以，用天文方法求得的天頂格林时角即等于測者在地球上的西經度。所謂西經度就是由格林尼治子午綫向西計算的經度。例如天頂的格林时角为 240° ，測者的西經亦为 240° ；但习惯上我們說測者是在东經 120° 。如图 1-4 中， $PZQ P'$ 为測者 O 的天球子午綫， ZQ 即为測者緯度；設 PGP' 为格林尼治天球子午綫，則 GPZ 角即为測者天頂的格林时角或測者的西經。

7. 观测者的地平 在天球上，与通过測者天頂与天底的直綫相直交的大圈，称为測者的天球地平 (Celestial Horizon) 如图 1-5 中的 RH 及图 1-6 中的 $NESW$ 即为測者 O 的天球地平 (或称真地平)。

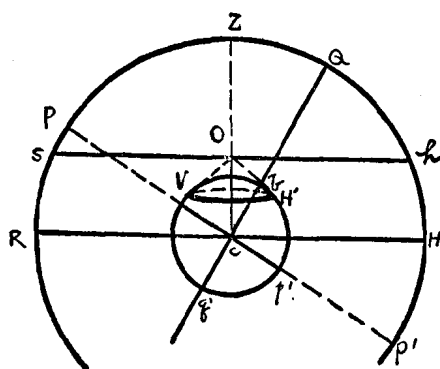


图 1-5

过观测者作与天球地平相平行的平面，經向外无限扩大后和天球相交所成的一个圈，称为观测者的准地平 (Sensible Horizon)。如图 1-5 中的 SH 即为測者 O 的准地平。

到过大海上的人们总会見到过水天的交界綫；这个以观测者本人为中心

的小圈，是海上进行天体高度观测的基准，称为海地平 (Sea Horizon) 或視地平 (Apparent Horizon)。如果我們假定光綫依直綫途徑傳入眼中，那么海地平就是由无数过測者眼睛所作地面的切点所形成。但事实上，由于折光的影响，海地平是依曲綫的途徑傳入眼中的；所以海地平与上述这种切点的集合尚有一定差